

Częstochowa, dn. 14 czerwca 2020 r.

dr hab. inż. Rafał Scherer, prof. uczelni  
Katedra Inteligentnych Systemów Informatycznych  
Wydział Inżynierii Mechanicznej i Informatyki  
Politechnika Częstochowska  
al. Armii Krajowej 36  
42-200 Częstochowa

### **Recenzja**

rozprawy doktorskiej mgr inż. Andrzeja Wilczyńskiego, pt.: Blockchain-based task scheduling in Computational clouds.

Promotor: dr hab. Joanna Kołodziej

Promotor pomocniczy: dr Agnieszka Jakubik

Niniejszą recenzję opracowano na zlecenie Przewodniczącego Rady Dyscypliny Informatyka Techniczna i Telekomunikacja AGH, dr hab. inż. Marka Kisiel-Dorohnickiego, prof. n. AGH, z dnia 14.04.2020 r.

#### 1. Charakterystyka tematu, celu i tezy badawczej rozprawy

Środowiska chmurowe (aplikacje, miejsce na dane oraz moce obliczeniowa) zaczynają w coraz większym stopniu wypierać tradycyjne modele infrastruktury informatycznej. Jest to spowodowane mniejszymi kosztami oraz zwiększonym bezpieczeństwem, a te z kolei możliwe są dzięki efektowi skali. Ponieważ popularne serwisy obsługują tysiące czy miliony klientów, potrzebne są algorytmy szeregowania zadań zapewniające ich sprawną obsługę z zadanym poziomem usług (QoS). Pomimo istnienia wielu algorytmów, ze względu na dużą liczbę czynników oraz dynamikę problemu, stworzenie optymalnego algorytmu szeregowania zadań w środowisku chmurowym pozostaje ciągle dużym wyzwaniem. Doktorant postanowił rozwiązać problem stosując rozwiązania oparte o ideę blockchain i teorię gier. Teza pracy przewiduje możliwość stworzenia wydajnych metod mapowania zadań na zasoby chmurowe uwzględniające aspekty bezpieczeństwa oraz wymagania użytkowników w oparciu o Blockchain.

#### 2. Zawartość rozprawy

Recenzowana praca mgr inż. Andrzeja Wilczyńskiego składa się z ośmiu rozdziałów, spisu ilustracji, tabel, listingów i skrótów, bibliografii oraz z dodatku. Dokument liczy 120 stron.

Pierwszy rozdział jest wprowadzeniem oraz prezentuje historię i ewolucję systemów chmurowych. Zaprezentowany jest podział ze względu na sposób dostępu, ze względu na warstwy o różnym poziomie abstrakcji. Dopiero ostatni akapit wprowadza konieczność szeregowania zadań dla zapewnienia odpowiedniej jakości usług. Tytuł tego podrozdziału powinien być może bardziej odzwierciedlać jego charakter jako wprowadzenie do tematyki. Następny podrozdział jest właściwym wprowadzeniem do problemu szeregowania zadań. Podaje podziały szeregowania przytaczane w literaturze. Wymienia również kryteria optymalizacji szeregowania zadań takie jak różnica między czasem rozpoczęcia i zakończenia sekwencji zadań, czas przepływu, koszty, wykorzystanie zasobów czy limity czasowe. Podrozdział 1.3 definiuje cele pracy. Dalej autor definiuje tezę pracy mówiącą o możliwości poprawy wydajności szeregowania zadań za pomocą technologii blockchain oraz wymienia elementy nowości. Ostatni podrozdział omawia zawartość rozprawy.

Rozdział 2 jest opisem stanu literatury światowej. Wymieniono podział na systemy planujące kładące nacisk na czas oraz na bezpieczeństwo. Publikacje związane z tematyką oceniane były na podstawie miar wydajności, bezpieczeństwa, wymagań klientów oraz celów. Przegląd obejmuje wyczerpującą analizę kilkunastu bieżących pozycji literaturowych. Na uwagę zasługuje metoda bazująca na modelu konkurencji Stackelberga zaproponowana przez Doktoranta w opublikowanym w 2017 artykule „Using Polymatrix Extensive Stackelberg Games in Security – Aware Resource Allocation and Task Scheduling in Computational Clouds”. W dalszej części rozdziału, metody z literatury porównane są zbiorczo w tabeli 2.1 biorąc pod uwagę rozmaite cechy i wymagania.

Rozdział 3 definiuje pojęcia używane dalej w rozprawie, takie jak zadanie, partia zadań, oraz problem optymalizacyjny, poziom bezpieczeństwa. Następnie jest zdefiniowana miara oceny modelu podająca poziom bezpieczeństwa harmonogramu.

Rozdział 4 prezentuje pokrótce technologię Blockchain. poprzez jej kluczowe składniki: decentralizację, trwałość, anonimowość, audytowalność, transparentność, bezpieczeństwo i niezmiennosc. Dzieli systemy blockchain na prywatne, publiczne i konsorcyjne, stanowe i bezstanowe oraz z uprawnieniami i bez. Dalej Doktorant opisuje sieć Blockchain z węzłami i użytkownikami, po czym następuje opis samego algorytmu. Wymienione są również modele konsensusu: Proof of Work, Proof of Authority i Proof of Stake, będący inspiracją do konsensusu zaproponowanego w pracy.

Rozdział 5 jest wprowadzeniem do modelu konkurencji Stackelberga formalizującego konkurencję w duopolu. Początek rozdziału omawia teorię gier wraz z typami gier (normalne i ekstensywne, jednoczesne i sekwencyjne, kooperacyjne i niekooperacyjne, sumie stałej, zerowej i niezerowej, symetryczne i asymetryczne). Dalej przybliżony jest asymetryczny model Stackelberga. Zaprezentowano scenariusz oparty na rozwiązaniu pochodzącym z literatury z 2018 roku dążący do silnej równowagi Stackelberga.

Rozdział 6 dotyczy autorskiego dokonania doktoranta, a mianowicie bezpiecznego systemu szeregowania zadań opartego na idei Blockchain. W komercyjnych systemach chmurowych podsystemy planujące zadania są wewnętrznymi, zamkniętymi rozwiązaniami. Zaproponowane w pracy rozwiązanie pozwala na szeregowanie zadań dla grupy klientów oraz

dostawców zasobów chmurowych. Podrozdział 6.1 definiuje model danych i komunikacji w proponowanym rozwiązaniu, a mianowicie klientów, dostawców usług chmurowych, pulę żądań, węzły i transakcje, podsystem blockchain. Podrozdział 6.2 omawia autorski (opublikowany w czasopiśmie *Simulation Modelling Practice and Theory*) algorytm konsensusu regulujący sterowanie planowaniem i dodawaniem nowych bloków do łańcucha. Konsensus jest modelowany uogólnioną grą Stackelberga. Nowe bloki tworzone są za pomocą metody opartej na algorytmie konsensusu Proof of Stake. Symulator napisany w języku Java zaprezentowany jest w podrozdziale 6.3. Dane przechowywane są w bazie danych MapDB, a komunikacja pomiędzy węzłami w sieci zaimplementowana jest za pomocą mechanizmów gniazd i wątków w języku Java.

Eksperymenty zaprezentowane są w rozdziale 7. Przetestowano implementację modelu Stackelberga przy różnych parametrach graczy: różnica między czasem rozpoczęcia i zakończenia sekwencji zadań ( $M$ ) oraz zaproponowanym scheduling factor (SF) związanym z zapotrzebowaniem obciążeniowym zadania. Wykonano symulacje przy równych współczynnikach SF dla obu graczy oraz przy różnych obu współczynnikach. Eksperymenty potwierdziły założenia, że gracze z wyższym współczynnikiem SF mają większe zaufanie w grze. W następnym podrozdziale sprawdzony jest proponowany algorytm szeregujący zadania. Zbadano tworzenie bloku zerowego, tworzenie transakcji oraz „kopanie” bloków. Pozytywne wyniki testu pozwoliły na porównanie zaproponowanego rozwiązania z czterema bieżącymi rozwiązaniami prezentowanymi w światowej literaturze. Rezultaty zostały ocenione za pomocą testu Wilcoxon dla par obserwacji. Pokazały one, że proponowany algorytm generuje poprawny i bezpieczny harmonogram wykonywania zadań.

Pracę kończy rozbudowana bibliografia składająca się ze stu piętnastu aktualnych pozycji.

Ogólnie zasadnicze i oryginalne rezultaty pracy można podsumować następująco:

- Opracowanie wprowadzenia do tematyki idei Blockchain, teorii gier i harmonogramowania zadań w środowiskach chmurowych.
- Zaproponowanie nowej taksonomii dotyczącej harmonogramowania w chmurze oraz nowego kryterium poziomu bezpieczeństwa.
- Stworzenie algorytmu harmonogramowania opartego na teorii gier.
- Zaprogramowanie opracowanych teoretycznie metod w języku Java.

Wymienione oryginalne metody przedstawione w pracy zostały opublikowane w kilku publikacjach naukowych – pięciu w czasopismach, dwóch w materiałach konferencyjnych oraz jednym rozdziale w książce. Zaprezentowany materiał pokazuje, że Doktorant zrealizował cel pracy.

### 3. Uwagi krytyczne i wskazówki dotyczące rozprawy

Praca napisana jest schludnie i przejrzysto. Praca obfituje w czytelne rysunki oraz schematy. Poniżej zamieszczam kilka uwag i pytań. Uwagi te nie umniejszają wartości naukowej rozważanej rozprawy doktorskiej.

W pracy brakuje opisu lub analizy gotowych bibliotek dedykowanych technologii Blockchain, takich jak Exonum, Hyperledger, OpenChain i innych. Czy możliwe byłoby ich wykorzystanie w czasie implementacji rozwiązania, a jeśli tak to czy przyniosłoby korzyści?

Skrót SF nie występuje w wykazie skrótów.

Niektóre pozycje literaturowe są niekompletne, np.:

[95] Tim Lindholm and Frank Yellin. "The Java Virtual Machine Specification". In: 1996.

[96] Frederic P. Miller, Agnes F. Vandome, and John McBrewster. "Apache Maven". In: 2010.

Występują nieliczne, drobne błędy językowe, np.:

"clouds providers" powinno brzmieć "cloud providers"

#### 4. Wnioski końcowe recenzji

Podsumowując recenzję stwierdzam, że Pan mgr inż. Andrzej Wilczyński w rozprawie doktorskiej „Blockchain-based task scheduling in computational clouds”:

- Zrealizował cel rozprawy,
- Uzyskał oryginalne rezultaty naukowe dotyczące bezpiecznego szeregowania zadań,
- Dokonał ciekawego wprowadzenia do tematyki,
- Stworzył przegląd wybranych bieżących pozycji literaturowych dotyczących tematu,
- Stworzył nową taksonomię harmonogramowania w chmurze,
- Zaproponował nowe kryterium „poziom bezpieczeństwa” systemu harmonogramowania,
- Zaproponował nowy algorytm harmonogramowania o nazwie Proof of Schedule oparty na modelu gry Stackelberga,
- Stworzył autorskie oprogramowanie w języku Java,
- Wykazał się umiejętnością samodzielnej pracy badawczej, znajomością literatury światowej i wiedzą w zakresie szeregowania zadań, teorii gier i chmur obliczeniowych.

Należy również podkreślić działalność zawodową Doktoranta, dającą mu doświadczenie praktyczne.

Recenzowana praca spełnia wymagania ustawy o tytule i stopniach naukowych w dyscyplinie naukowej Informatyka Techniczna i Telekomunikacja. Wnoszę o jej przyjęcie i dopuszczenie do publicznej obrony. Jednocześnie ze względu na wysoki poziom naukowy rozprawy, wnioskuję o wyróżnienie rozprawy.